

Respons Semaian Beberapa Klon Kakao di Pembibitan Terhadap Kadar Lemas Tanah Tinggi

Response of Selected Clones of Cocoa Seedlings in the Nursery Against High Soil Water Content

A. Adi Prawoto¹⁾, Mohammad Zainunnuroni²⁾ dan Slameto³⁾

Ringkasan

Harga biji kakao yang tinggi sejak tahun 2001 dan masih bertahan sampai tahun 2005, menyebabkan minat pekebun untuk menanam kakao serta memperluas areal pertanaman secara signifikan meningkat pesat. Sebagai konsekuensi yang dapat terjadi adalah lahan yang diusahakan mengarah ke marginal, misalnya lahan dengan air tanah dangkal atau kadar lemas yang terus menerus tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari bahan tanam kakao yang toleran dengan kondisi lahan tersebut. Penelitian pot dilaksanakan di rumah kaca Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, menggunakan rancangan acak kelompok faktorial 10 x 4, ulangan tiga kali. Faktor pertama berupa benih propelegitim 10 klon kakao, yakni KW 165, KW 162, DR 2, DRC 16, GC 7, ICS 13, ICS 60, KW 163, Sca 12 dan TSH 858. Faktor kedua merupakan empat taraf kadar lemas media, yakni 100% (kapasitas lapang = kontrol), 125%, 150% dan 175%. Pengaturan siraman dilakukan secara gravimetri dan sebulan sekali jumlah air siraman dikoreksi dengan bobot basah bibit. Penelitian diakhiri setelah bibit berumur 5 bulan. Hasilnya menunjukkan bahwa perkembangan diameter batang, bobot kering akar serta jumlah daun kakao masih normal sampai kadar lemas media terus menerus 25% di atas kapasitas lapang. Pada kondisi tersebut bobot kering bibit turun sekitar 13% dibanding kontrol, sementara pada lemas tanah 75% di atas kontrol, bobot kering bibit turun sekitar 34%. Berdasarkan pada bobot kering bibit serta bobot kering akar, dengan metode uji gerombol (kluster) terdapat tiga semai yang cukup toleran kadar lemas tinggi, yakni DRC 16, GC 7 dan ICS 60. Sementara itu ada satu kelompok semai yang rentan lemas tinggi yaitu KW 165, KW 163 dan DR 2. Diameter batang serta kadar klorofil merupakan indikator yang baik untuk seleksi kakao tahan kadar lemas tanah tinggi, korelasinya dengan bobot kering bibit adalah positif dan amat erat.

Summary

Since 2001 to 2005, cocoa bean price is high, this condition accelerates farmers to plant and enlarge their cocoa areas. The impact of this euphoria is

1) Ahli Peneliti (*Senior Researcher*); Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. P.B. Sudirman 90, Jember 68118, Indonesia.

2) Dosen (*Lecturer*); Universitas Islam Jember, Jember, Indonesia.

3) Dosen (*Lecturer*); Universitas Negeri Jember, Jember, Indonesia.

the possibility that the planting area will be more marginal, i.e. high water table or soil with continuously high water content. This study was to evaluate cocoa planting materials tolerant to those condition. The experiment was conducted in glass house of Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute using RCBD, replicated 3 times. The treatments were factorial 10 x 4. The propelegitimate seedlings of 10 clones were the first factor, i.e. KW 165, KW 162, DR 2, DRC 16, GC 7, ICS 13, ICS 60, KW 163, Sca 12, and TSH 858. The second factor were soil water content, that were 100% (field capacity = control), 125%, 150%, and 175%. Watering method was gravimetric, once a month the volume was corrected by wet weight of the seedlings. The study was terminated after 5 month old. The result showed that growth of stem diameter, root dry weight and leaf number still normal until soil water content 25% above field capacity. At that condition, seedling dry weight dropped 13% below control, whereas at 175% treatment the decreasing of seedling dry weight was 34% below control. According to seedling and root dry weights, and chlorophyll content, by using cluster analysis it could be obtained a group of seedlings tolerant to high soil water content, i.e. DRC 16, GC 7, and ICS 60. Meanwhile, a group of seedlings susceptible to high water content, i.e. KW 165, KW 163, and DR 2. Stem diameter and chlorophyll content was good indicator for water logging tolerance reaction for cocoa seedling, its correlation to seedling dry weight were positive and tight.

Key words : Theobroma cacao, seedlings, waterlogging, growth, chlorophyll.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan produksi tanaman merupakan interaksi antara faktor genetik dengan lingkungannya. Potensi produksi ditentukan oleh faktor genetik sedangkan produksi aktual di kebun ditentukan juga oleh faktor-faktor luar, baik lingkungan fisik maupun teknis budi daya. Agar potensi genetik komoditas yang diusahakan mampu terekspressi dengan baik, maka lahan yang diusahakan harus sesuai dan teknis budi daya yang standar.

Akhir-akhir ini minat pekebun untuk mengusahakan tanaman kakao amat kuat karena terdorong oleh harga yang selama lima tahun terakhir masih bertahan cukup tinggi. Oleh karena lahan yang sesuai untuk budi daya kakao sudah makin terbatas, maka besar kemungkinan pekebun akan merambah

lahan yang mendekati marginal, baik marginal sifat fisika maupun kimia. Salah satu sasaran yang dapat dirambah oleh pekebun adalah areal yang secara periodik maupun konsisten tergenang, air tanahnya dangkal atau kadar lengas terus menerus tinggi. Risiko dalam berusaha tani pada lahan seperti itu tentunya produktivitas tidak optimum dan biaya produksi yang lebih mahal.

Lahan dikatakan memiliki sifat drainase jelek apabila kadar lengas terus menerus di atas kapasitas lapang dan potensial tekanan lengasnya di atas 0 bar. Dalam kondisi demikian, fasa udara tanah akan tergantikan oleh fasa air. Oleh sebab itu meskipun dalam kondisi tanah kelebihan air, tetapi tanamannya dapat stress air yang merupakan penyebab sekunder. Efek sekunder yang paling

mungkin terjadi sebagai akibat kondisi kadar lengas tinggi adalah pencucian hara mineral ataupun metabolit antara yang esensial dari daerah perakaran (Levitt, 1980). Akibat yang lain adalah timbulnya cekaman gas yang ditandai dengan (a) defisit O_2 , (b) kelebihan gas CO_2 , serta (c) timbulnya gas etilen yang berlebih. Kondisi kekurangan oksigen (anoksia), respirasi aerob diganti respirasi anaerob dapat berakibat pada kematian tanaman (Levit, 1980; Setter *et al.*, 1997). Kekurangan oksigen mempengaruhi permeabilitas membran sel, hubungan air-tanaman, nutrisi mineral, produksi zat pengatur tumbuh dan alokasinya, fotosintesis, respirasi dan alokasi karbohidrat. Sebagian besar dari proses tersebut juga dapat dipengaruhi oleh toksin dari tanah misalnya H_2S yang merupakan produk samping kondisi tergenang (Pezeshki, 1994).

Air tanah yang berlebih menghambat respirasi akar dan menyebabkan tanaman kekurangan energi untuk menyerap air dan unsur hara dari dalam tanah, selanjutnya stomata dapat menutup sebagai respons pengurangan laju pertumbuhan yang drastis (Munandar, 1995). Penutupan stomata tersebut disebabkan oleh terjadinya akumulasi ABA (asam absisat) tidak lama setelah tergenang. Akumulasi ABA terus meningkat di dalam akar dan ditranslokasikan ke bagian tanaman di atas tanah yang dapat berakibat pada penutupan stomata. Dekomposisi bahan organik dalam kondisi anaerob akan melepaskan gas metan (C_2H_4) yang juga dapat berakibat meracuni tanaman (Jumin, 1992).

Kahlowan *et al.* (2005) menyatakan terdapat keragaman respons antarspesies

tanaman terhadap kadar lengas tanah tinggi sebagai dampak dari air tanah yang dangkal. Pada jeluk air tanah 50 cm, tanaman gandum dapat memenuhi seluruh kebutuhan airnya, bunga matahari menyerap 80% kebutuhan airnya, sedangkan jagung dan sorghum sudah menghambat pertumbuhan dan produksinya. Adanya perbedaan respons antarspesies juga dilaporkan pada beberapa spesies rumput. Terjadi reduksi akumulasi bahan kering serta karbohidrat larut air di dalam daun serta batang selama pembungaan dan pengisian biji selama perlakuan genangan. Pada spesies *Festuca arundinacea* penurunan hasil biji tidak sebesar pada spesies *Lolium multiflorum* dan *L. perenne* karena potensi kompensasi cadangan karbohidrat dalam daun dan batang yang lebih tinggi untuk mendukung pertumbuhan biji tersebut. Potensi tersebut tidak terjadi pada *Lolium multiflorum* dan *L. perenne* (Griffith, 2000).

Mengenai mekanisme tanaman untuk toleran pada kondisi lengas tanah tinggi, telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Kemampuan tanaman padi untuk tetap hidup selama tergenang dinyatakan berkorelasi erat dengan suplai karbohidrat (Setter *et al.*, 1997). Varietas padi yang toleran genangan ditandai dengan pertumbuhan memanjang yang sangat ditekan, dengan kata lain sangat efisien dalam menggunakan sumber energi karbohidrat. Terjadi pembentukan lapisan barier suberin dan lignin di dalam eksodermis akar yang memungkinkan terjadinya pengaturan transpor solute dan gas keluar dan masuk ke dalam akar (De Simone *et al.*, 2003). Terbentuknya aerenkim (jaringan korteks dengan ruang interselular yang besar) pada tanaman yang tahan tergenang merupakan

hasil dari hidrolisis dinding sel dan juga lisis sel yang diinduksi oleh etilen endogen (Saab & Sachs, 1996). Dalam kondisi tanah becek, bagian luar jaringan felogen akar tunggang *Sesbania cannabina* melebar dan memanjang dan tersusun oleh sel-sel yang berkembang radial membentuk zone bunga karang di dalam endodermis. Sel-sel yang memanjang ini secara radial akan saling terhubung membentuk aerenkim sekunder di sekeliling stele akar tunggang (Shiba & Daimon, 2003). Terbentuknya akar adventif yang tumbuh dari pangkal batang sebagai respons kadar lengas tinggi, telah dilaporkan pada spesies *Rumex palustris* (Visser *et al.*, 1996), *Gmelina arborea* (Osonubi & Osundina, 1987) serta *Fraxinus mandshurica* Rupr. var. *Japonica* (Yamamoto *et al.*, 1995). Pada tanaman kakao belum dijumpai referensi mengenai respons antarvarietas (klon) terhadap kondisi lengas tanah tinggi, apalagi mekanisme ketahanannya. Penelitian ini bertujuan untuk menguji bahan tanam baru kakao yang sudah ada dan yang akan dilepas guna mencari keturunannya yang toleran kadar lengas tanah tinggi. Informasi yang didapat diharapkan dapat bermanfaat bagi pekebun atau pembuat kebijakan yang akan mengembangkan komoditas kakao pada lahan yang bermasalah dengan kadar lengas tanah tinggi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia di KP. Kaliwining dengan rancangan perlakuan faktorial 10 x 4 dan rancangan lapangan acak kelompok tiga ulangan.

Faktor pertama berupa semai (benih propelegitim) sepuluh klon kakao, yaitu KW 165, KW 163, DR 2, DRC 16, GC 7, ICS 13, ICS 60, KW 162, Sca 12, TSH 858. Faktor kedua adalah kadar lengas media bibit sebagai berikut :

- G0 : 95–105 % atau rata-rata 100 % (kapasitas lapang).
- G1 : 120–130 % atau rata-rata 125 % terhadap kapasitas lapang.
- G2 : 145–155 % atau rata-rata 150 % terhadap kapasitas lapang.
- G3 : 170–180 % atau rata-rata 175 % terhadap kapasitas lapang.

Tanah dikering-anginkan kemudian ditumbuk halus, diayak dan dimasukkan ke dalam polibeg 30 cm x 20 cm (p x l) tebal 0,08 mm sebanyak 5 kg/polibeg. Tidak seperti biasanya, polibeg tidak diberi lubang-lubang drainase. Contoh tanah yang sama dibawa ke Laboratorium Tanah dan Jaringan Tanaman Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia untuk ditentukan kadar lengasnya pada kondisi kering angin, kapasitas lapang, dan titik layu permanen. Hasil pengamatan kadar lengas tanah yang digunakan sbb :

Kering angin = 22,6%.

Kapasitas lapang = 52,7%.

Titik layu permanen = 23,7%.

Jadi kadar lengas tersedia = 23,7%.

Air tersedia untuk perlakuan tingkat genangan :

$$G0 = 100\% = 100\% \times 23,7 = 23,7\%.$$

$$\text{Kadar lengas aktual} = 23,7 + 29\% = 52,7\%.$$

$$G1 = 125\% = 125\% \times 23,7 = 29,62\%.$$

$$\text{Kadar lengas aktual} = 29,62 + 29\% = 58,62\%.$$

$$G2 = 150\% = 150\% \times 23,7 = 35,55\%.$$

$$\text{Kadar lengas aktual} = 35,55 + 29\% = 64,55\%.$$

$$G3 = 175\% = 175\% \times 23,7 = 41,47\%.$$

$$\text{Kadar lengas aktual} = 41,47 + 29\% = 70,47\%.$$

Bobot tanah dalam polibeg = 2500 g.
 Bobot air dalam sampel tersebut = 2.039,15 g.

Bobot tanah kering = 2039,15 g.

Air yang ditambahkan untuk perlakuan :

$$G0 = (52,7 - 22,6)\% = 30,1\% = 30,1/100 \times 2039,15 \text{ g} = 613,78 \text{ g}.$$

$$G1 = (58,62 - 22,6)\% = 35,6\% = 35,6/100 \times 2039,15 \text{ g} = 725,94 \text{ g}.$$

$$G2 = (64,55 - 22,6)\% = 41,9\% = 41,9/100 \times 2039,15 \text{ g} = 854,40 \text{ g}.$$

$$G3 = (70,47 - 22,6)\% = 47,87\% = 47,87/100 \times 2039,15 \text{ g} = 976,14 \text{ g}.$$

Bobot setiap polibeg setelah ditambah air sbb :

$$G0 = 2500 + 613,78 \text{ g} = 3.113,78 \text{ g}.$$

$$G1 = 2500 + 725,93 \text{ g} = 3.225,93 \text{ g}.$$

$$G2 = 2500 + 854,40 \text{ g} = 3.354,40 \text{ g}.$$

$$G3 = 2500 + 976,14 \text{ g} = 3.476,14 \text{ g}.$$

Penyiraman bibit kakao selanjutnya mendasarkan pada bobot tanah hasil analisis di laboratorium tersebut. Sebulan sekali volume air siraman dikoreksi dengan bobot basah bibit kakao.

Benih kakao hasil persarian bebas (benih propelegitim) dari 10 klon yang dikaji ditanam dalam media yang sudah disiapkan dalam polibeg yang sudah dijenuhkan dengan air. Selanjutnya bibit dipelihara normal sampai berumur 30 hari, setelah itu penyiramannya disesuaikan dengan kadar lengas yang diuji.

Pengamatan pertumbuhan pertama dilakukan mulai umur dua bulan yaitu satu bulan setelah awal perlakuan lengas media. Pengamatan berikutnya dilakukan sebulan sekali dan diakhiri pada umur lima bulan. Selain variabel pertumbuhan, diamati pula kadar klorofil dalam daun menggunakan metode Winternans (1965) dan dilakukan di Laboratorium Fisiologi Fakultas Pertanian Universitas Jember. Laju transpirasi diamati pada pukul 10.00–10.30 menggunakan alat Porometer . Data dianalisis varians dan uji lanjut Tukey 5%. Selain itu dilakukan uji gerombol (*cluster*) terhadap variabel bobot kering akar, bobot kering total bibit dan kadar klorofil daun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam seperti tertera dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa interaksi antara klon dengan tingkat kadar lengas untuk seluruh variabel pengamatan tidak nyata, maka data pertumbuhan disajikan sebagai faktor tunggal (Tabel 2 dan 3).

Tampak dari Tabel 3 bahwa pertumbuhan bibit kakao makin jelek dengan makin tingginya kadar lengas tanah di atas kapasitas lapang, namun kelihatan pula bahwa kakao masih toleran sampai tingkat kadar lengas media 25% di atas kapasitas

lapang. Pada perlakuan tersebut variabel diameter batang, luas daun dan bobot kering akar tidak berbeda dengan kontrol. Pada tingkat kadar lengas yang lebih tinggi, pertumbuhan bibit kakao turun secara jelas. Gejala visual menunjukkan jumlah daun makin sedikit, ukurannya makin sempit dan warna daun pucat gejala klorosis. Reduksi akumulasi biomassa (bobot kering) sebagai respons terhadap peningkatan lengas tanah di atas kapasitas lapang, merupakan akibat dari turunnya laju fotosintesis serta mekanisme lain yang mempengaruhi fotosintesis tersebut, seperti *stomatal conductance*, transpirasi, penyerapan air dan mineral dari tanah, serta tentunya kadar klorofil dan luas daun. Pada tanaman *Prioria copaifera* dilaporkan bahwa kondisi tergenang menurunkan laju fotosintesis sebesar 10–30% tetapi setelah 90 hari laju fotosintesis *Prioria copaifera* yakni spesies yang toleran genangan, kembali normal (Lopez & Kursar, 1999). Kondisi tergenang juga menurunkan *stomatal conductance* sebesar 25–35%, menurunkan luas daun

sebesar 44% terhadap kontrol pada *Virola*. Pada spesies *Alnus* spp. kondisi tanah yang becek menghambat fiksasi N, menurunkan laju fotosintesis dan pertumbuhannya serta tidak terjadi penyembuhan selama berlangsung kondisi yang tidak kondusif tersebut (Kaelke & Dawson, 2003). Mekanisme yang sama dilaporkan pada beberapa genotipe *Vigna unguiculata* sebagai respons terhadap perlakuan beberapa tingkat kekeringan (Anyia & Herzog, 2004). Pengaturan pembukaan dan penutupan stomata serta reduksi luas daun, merupakan bentuk mekanisme beberapa genotipe *V. unguiculata* dalam merespons cekaman kekeringan. Dari beberapa referensi diperoleh keterangan bahwa penyebab kemunduran pertumbuhan bibit itu tentunya disebabkan karena terhambatnya respirasi di dalam akar oleh kondisi yang makin anaerob. Akibat lebih mendasar dari kondisi lengas tanah demikian adalah menutupnya stomata oleh ABA serta etilen yang dilaporkan terakumulasi setelah mengalami kondisi anaerob (Mc Kersie & Leshem,

Tabel 1. Hasil analisis ragam variabel pertumbuhan bibit umur 5 bulan

Table 1. Variance analysis of growth variables of 5 months old seedling

Ragam Variance	Tinggi Height	Diameter batang Stem diameter	Jumlah daun No. of leaves	Luas daun Leaf area	Bobot kering akar Root dry weight	Bobot kering bibit Seedling dry weight
Klon (Clone) (K)	9.58 **	25.23 **	2.10 *	7.55 **	112.83 **	11.57 **
Lengas (L)	328.97 **	56.57 **	10.39 **	40.10 **	275.25 **	41.92 **
Water content						
K X L	1.50 ^{ns}	0.47 ^{ns}	1.04 ^{ns}	0.47 ^{ns}	1.33 ^{ns}	0.35 ^{ns}

Catatan (Notes): ** : berbeda pada taraf 1% (significantly different at 1% level)

* : berbeda pada taraf 5% (significantly different at 5% level)

ns : tidak berbeda nyata (not significant).

Tabel 2. Pengaruh bahan tanam terhadap beberapa variabel pertumbuhan bibit umur lima bulan

Table 2. Effect of planting materials on several growth variables of 5 month old seedlings

Semaian dari klon <i>Seedling from clone</i>	Tinggi <i>Height, cm</i>	Diameter batang <i>Stem. diam., mm</i>	Jumlah daun <i>Leaf no.</i>	Luas daun <i>Leaf area, cm²</i>	Bobot kering akar <i>Root d.w., g</i>	Bobot kering bibit <i>Seedling d.w., g</i>
KW 165	30.50 b	5.68 b	12.8 a	561.96 b	2.24 b	10.90 c
KW 163	33.00 ab	5.80 b	13.1 a	472.95 b	3.58 a	12.51 b
DR 2	33.16 ab	5.75 b	11.8 a	416.04 b	2.67 b	12.41 b
DRC 16	33.66 a	6.18 a	11.9 b	626.59 a	4.00 a	16.47 a
GC 7	33.25 a	6.04 a	12.3 a	648.76 a	3.76 a	15.89 ab
ICS 13	31.50 b	6.55 a	11.8 b	608.72 a	3.53 a	12.82 b
ICS 60	31.33 b	6.75 a	12.9 a	688.14 a	3.52 a	16.39 ab
KW 162	33.08 a	6.46 a	12.2 a	510.31 b	3.62 a	12.56 b
Sca 12	29.66 b	6.21 a	13.0 a	546.85 b	3.07 a	12.51 b
TSH 858	33.91 a	6.58 a	12.3 a	513.96 b	2.49 b	12.35 b

Catatan (Notes) : Data pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Tukey 5% (*Data in the same column followed by the same letter was not significantly different according to Tukey at 5% level*).

Tabel 3. Pengaruh kadar lengas media terhadap beberapa variabel pertumbuhan bibit kakao umur 5 bulan

Table 3. Effect of soil moisture content on the several growth variables of 5 months old seedlings

Lengas tanah <i>Soil moisture content</i>	Tinggi <i>Height, cm</i>	Diam. batang <i>Stem. diam., mm</i>	Jumlah daun <i>Leaf no.</i>	Luas daun <i>Leaf area, cm²</i>	Bobot kering akar <i>Root d.w., g</i>	Bobot kering bibit <i>Seedling d.w., g</i>	BK bibit thd kontrol, % <i>Seedling d.w. to control, %</i>
Kap. lapang, 100% <i>Field cap., 100%</i>	39.87 a	6.64 a	13.3 a	704.14 a	3.94 a	16.35 a	0
125% thd kap. lapang <i>125% to field cap.</i>	32.23 b	6.33 a	12.5 a	604.34 b	3.50 a	14.23 b	-12.97
150% thd kap. lapang <i>150% to field cap.</i>	29.53 c	6.06 b	12.2 b	511.73 c	2.93 b	12.60 c	-22.94
175% thd kap. lapang <i>175% to field cap.</i>	27.60 d	5.78 b	11.6 b	417.33 d	2.62 b	10.74 d	-34.31

Catatan (Notes) : Data pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Tukey 5% (*Data in the same column followed by the same letter was not significantly different according to Tukey at 5% level*).

1994). Akumulasi ABA dan etilen terus meningkat di dalam akar yang kemudian ditransfer ke batang dan daun. Pertumbuhan daun serta perpanjangan akar terhambat oleh status etilen yang meningkat tersebut.

Dari Tabel 2 tampak ada perbedaan jelas antarsemaian terhadap cekaman lengas tanah tinggi. Mendasarkan pada variabel bobot kering bibit, semaian beberapa klon yang cukup toleran kadar lengas media tinggi yaitu

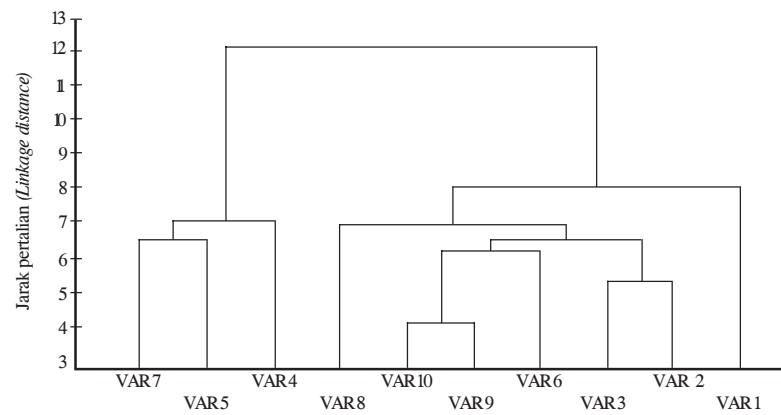
DRC 16, GC 7 dan ICS 60, sementara semai klon-klon KW 165, KW 162 dan KW 163, tidak toleran kondisi tanah tersebut. Adanya perbedaan respons antar semai tersebut merupakan faktor genetis sebagaimana terjadi adanya perbedaan respons semai klon kakao terhadap cekaman lengas tanah (Prawoto *et al.*, 2003). Perbedaan respons antarklon terhadap kondisi tergenang dan kekeringan telah dilaporkan pada setek tanaman *Populus* klon Tristis and Eugenei (Liu & Dickmann, 1992). Mekanisme perbedaannya adalah laju pertukaran gas dalam daun pada klon Tristis *recover* lebih cepat dari pada klon Eugenei dari kondisi tercekam kekeringan beralih ke kondisi tergenang. Perbedaan antarklon ini menunjukkan strategi fisiologis untuk bertahan hidup dalam kondisi cekaman lingkungan.

Selain berdasarkan pada analisis varians, pemilahan bahan tanam kakao yang toleran lengas tanah tinggi juga dilakukan dengan analisis gerombol (*cluster analysis*) dan hasilnya tertara dalam Gambar 1 dan 2. Hasilnya mendukung dengan apa yang diperoleh dengan analisis varians. Tampak dari Gambar 1 bahwa terdapat satu gerombol yang jarak euklidnya dekat dan toleran lengas tanah tinggi yakni ICS 60, GC 7 dan DRC 16, di lain pihak KW 165, DR 2 dan KW 163 peka kadar lengas tinggi. Hasil ini mendukung kesimpulan yang diperoleh dengan analisis varians. Kecenderungan yang sama juga tampak dari hasil analisis gerombol terhadap variabel bobot kering akar (Gambar 2) meskipun tingkat pertaliannya tidak seerat pemilahan yang berdasarkan pada bobot kering bibit.

Tanah dengan kadar lengas terus menerus tinggi pernah dilaporkan juga berpotensi mengalami kahat hara makro seperti N, P, K, Ca dan Mg di lain pihak terjadi keracunan Fe dan Al (Hairunsyah, 1987). Beberapa unsur hara tersebut berperan struktural, antara lain Mg sebagai penyusun inti porfirin dalam klorofil, N sebagai unsur utama penyusun asam amino, protein dan enzim serta Ca sebagai penyusun utama dinding sel tanaman. Oleh sebab itu pengaruh lebih lanjut dari kondisi tanah yang memiliki sifat demikian akan ditandai dengan turunnya kandungan klorofil, daun menguning kemudian mengering dan gugur serta pertumbuhan tunas terhenti.

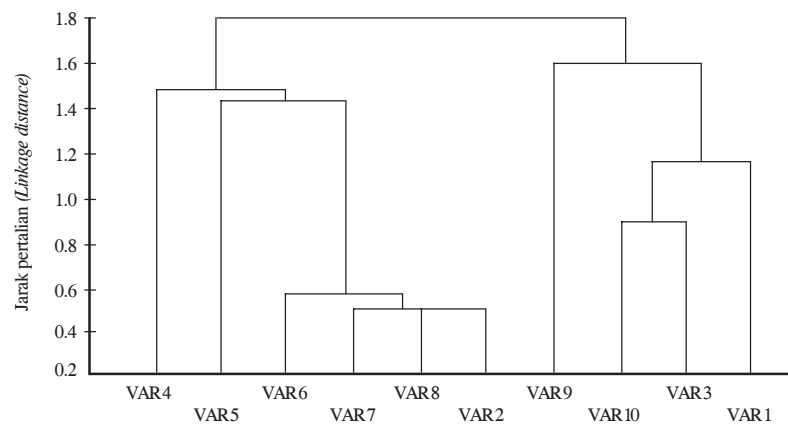
Dalam penelitian ini, hasil analisis kadar klorofil daun kakao tertera dalam Gambar 3 dan 4. Dari Gambar 3 tampak penurunan kandungan klorofil dengan pola linier seiring dengan peningkatan yang linier kadar lengas media perakaran. Penurunan tersebut adalah logis karena kondisi yang cenderung anaerob mengganggu penyerapan hara khususnya unsur nitrogen dan magnesium yang merupakan komponen utama penyusun klorofil.

Tampak dari Gambar 4 bahwa ada perbedaan kandungan klorofil antarsemai kakao. Kadar klorofil paling rendah terjadi pada semai DR 2 yakni $11,52 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ sementara kadar tertinggi terjadi pada semai ICS 13 yakni $16,47 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. Kecenderungan serupa terjadi pada tanaman *Annona muricata*, bahwa kondisi tergenang menurunkan indeks klorofil daun, dan pertumbuhan tanaman serta meningkatkan kebocoran elektrolit dari akar (Ojeda *et al.*, 2004).



Gambar 1. Hasil uji gerombol bobot kering bibit.

Figure 1. Cluster analysis of seedling dry weight.

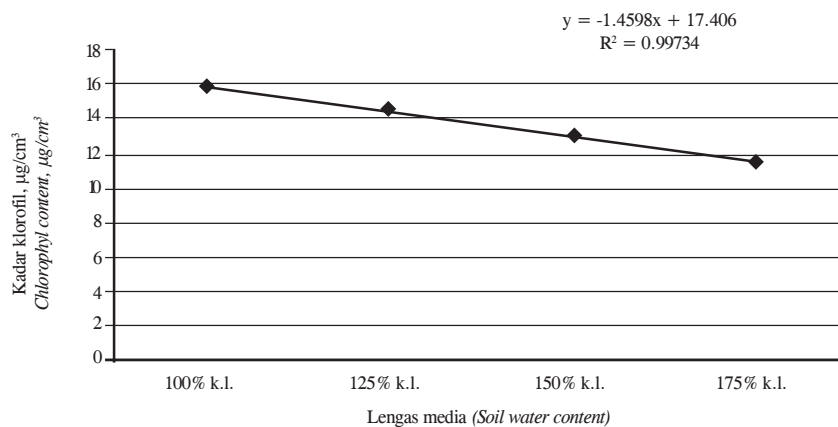


Catatan (Notes) : VAR 1 = KW 165; VAR 2 = KW 163; VAR 3 = DR 2; VAR 4 = DRC 16;
VAR 5 = GC 7; VAR 6 = ICS 13; VAR 7 = ICS 60; VAR 8 = KW 162; VAR 9
= Sca 12; VAR 10 = TSH 858.

Gambar 2. Hasil uji gerombol bobot kering akar.

Figure 2. Cluster analysis of root dry weight.

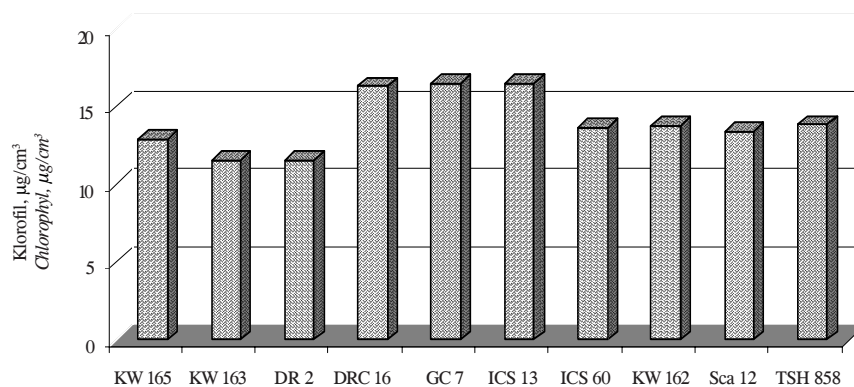
Respons semaian beberapa klon kakao di pembibitan terhadap kadar lengas tanah tinggi



Catatan (Notes) : k.l. = kapasitas lapang (Field cap.)

Gambar 3. Pengaruh kadar lengas media pembibitan terhadap kadar klorofil.

Figure 3. Effect of soil moisture content on chlorophyll content.

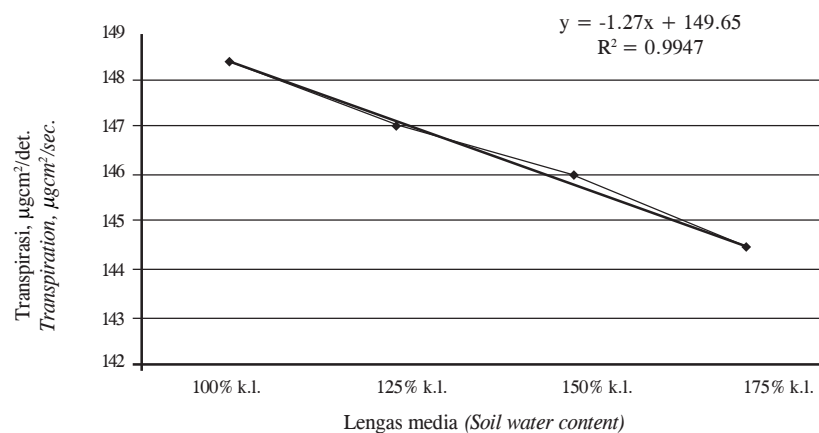


Gambar 4. Kadar klorofil semaian beberapa klon kakao sebagai responsnya terhadap kadar lengas media pembibitan.

Figure 4. Chlorophyll content of selected cocoa seedlings as the response to soil moisture content.

Apabila kadar klorofil daun tersebut dikaitkan dengan bobot kering bibit, ternyata korelasinya positif dan amat erat ($r = 0,961$, Tabel 4). Hasil ini memberikan indikasi bahwa kadar klorofil daun dapat menjadi indikator yang baik dalam seleksi kultivar tanaman kakao yang toleran kadar lengas tanah tinggi. Kultivar yang toleran dengan kondisi media tersebut, kadar klorofilnya tidak banyak mengalami penurunan dibandingkan kultivar yang rentan lengas tanah tinggi. Diduga sebagai penyebabnya karena pertumbuhan sistem perakaran kultivar yang toleran itu masih cukup baik untuk menopang pasokan hara Mg, N dan hara lainnya yang cukup untuk sintesis klorofil di dalam daun. Apabila indikator fisiologis kultivar kakao toleran kekeringan adalah kadar prolin daun (Prawoto *et al.*, 2003), maka sebagai indikator fisiologis kultivar kakao toleran lengas tanah tinggi adalah kadar klorofil.

Pengaruh kadar lengas media terhadap laju transpirasi menunjukkan hasil bahwa makin tinggi kadar lengas media di atas kapasitas lapang, makin lambat laju transpirasinya dan hubungan tersebut adalah linier (Gambar 5). Laju transpirasi diamati dengan alat porometer dan dilakukan pada pukul 10.00–10.30. Penurunan laju transpirasi tersebut tentunya disebabkan oleh penutupan sebagian stomata. Informasi terkini menyatakan bahwa penutupan stomata sebagai respons kondisi tergenang ternyata bukan disebabkan oleh ekspor ABA yang berlebih dari akar ke daun atau oleh sintesis ABA yang berlebih pada daun-daun tua dan diekspor ke daun-daun muda, melainkan oleh pemacuan akumulasi ABA di dalam daun karena terbatasnya ekspor keluar dari daun. Walaupun demikian pada tanaman tomat ditengarai adanya senyawa khusus bukan ABA yang ditransfer dari akar ke daun yang memicu penutupan stomata. Jadi tetap



Catatan (Notes) : k.l. = kapasitas lapang (*field capacity*).

Gambar 5. Pengaruh kadar lengas media terhadap laju transpirasi.

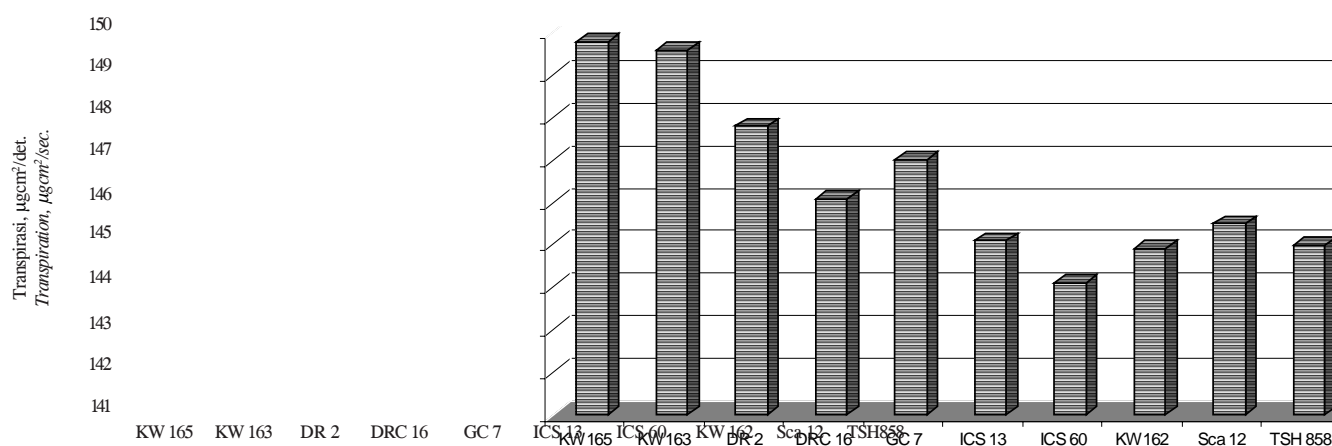
Figure 5. Effect of media moisture content on the transpiration rate.

ada signal dari akar yang menyebabkan stomata menutup pada tanaman yang tergenang (Else *et al.*, 1996).

Apabila variabel laju transpirasi dikaitkan dengan daya tahan bahan tanam terhadap kondisi lengas media tinggi, hasilnya tidak menunjukkan hubungan yang baik, koefisien korelasi kedua variabel tersebut adalah $-0,4144$ (Tabel 4). Seperti tampak dari Gambar 6 bahwa bahan tanam yang dari aspek bobot kering tinggi, ternyata laju transpirasinya lebih lambat dari pada bahan tanam yang ditengarai peka kondisi tergenang. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa laju transpirasi bukanlah tolok ukur yang baik untuk seleksi bahan tanam kakao yang toleran lengas tanah tinggi.

Analisis variabel yang memberikan kontribusi tinggi terhadap bobot kering bibit dilakukan dengan mengamati korelasi

antarvariabel, maka dari 10 variabel yang diamati, variabel bobot kering akar, diameter batang dan kadar klorofil berkorelasi positif dan erat dengan bobot kering bibit (Tabel 4). Di lain pihak variabel tinggi bibit, jumlah daun dan luas daun korelasinya terhadap bobot kering bibit lemah. Hubungan tersebut menarik dan cukup mudah untuk dipahami bahwa bahan tanam yang toleran kondisi marginal lengas media tinggi, sistem perakarannya masih mampu berkembang dengan baik dan klorofilnya yang menjadi mesin fotosintesis kadarnya masih cukup tinggi. Kondisi tersebut selanjutnya diekspresikan dengan pertumbuhan batang yang membesar yang secara visual mudah diamati. Pada tanaman kakao, pertumbuhan membesar dari batang merupakan variabel yang penting karena berkaitan erat dengan prekositas tanaman serta daya hasilnya (Atanda, 1975).



Gambar 6. Laju transpirasi beberapa semai kakao sebagai responsnya terhadap kadar lengas media pembibitan.

Figure 6. Transpiration rate of several cocoa seedlings as the respons to soil moisture content.

Analisis yang lebih mendalam mengenai mekanisme ketahanan terhadap lengas tanah tinggi, dilakukan secara visual terhadap sebaran sistem perakaran. Dengan perlakuan lengas tanah yang tinggi, akar tunggang tidak berkembang sementara akar lateral berkembang amat dekat dengan permukaan tanah. Sistem perakaran lateral tersebut adakalanya tumbuh dari pangkal batang dekat permukaan tanah yang dalam istilah biologi disebut akar adventif (akar yang tumbuh tidak pada tempatnya). Terhadap variabel ini tampak ada perbedaan antarsemaian, kultivar yang cukup toleran menunjukkan pertumbuhan sistem perakaran masih cukup intensif dibandingkan kultivar yang peka, sehingga menghasilkan bobot kering akar yang lebih tinggi. Bentuk adaptasi tanaman seperti ini sudah umum dijumpai di daerah yang secara periodik banjir atau kawasan dengan air tanah yang dangkal. Pada kondisi tersebut akar tunggang tidak berkembang sementara akar lateral berkembang intensif dekat dengan permukaan tanah dan dengan curah

hujan yang tinggi dan terjadi erosi maka perakaran lateral tersebut akan muncul di atas permukaan tanah.

Referensi yang mendukung bentuk adaptasi tanaman terhadap lengas tanah tinggi, cukup banyak. Visser *et al.* (1996) menyatakan bahwa pada spesies yang toleran tanah becek (*Rumex palustris*), perlakuan genangan justru menginduksi pertumbuhan akar adventif. Tumbuhnya akar-akar adventif pada pangkal batang merupakan bentuk adaptasi yang penting terhadap kondisi tanah becek dan berlangsung segera setelah kondisi tersebut terjadi. Pengamatan lebih jauh menunjukkan bahwa pertumbuhan akar tersebut didahului dengan peningkatan kadar etilen di dalam perakaran yang selanjutnya menginduksi sintesis IAA endogen yang memacu pertumbuhan akar adventif tersebut. Berkembangnya akar adventif sebagai respons kondisi tergenang juga dilaporkan pada tanaman *Gmelina arborea*. Kondisi tergenang menginduksi tanaman asal benih membentuk lentisel hipertropi, batang hipertropi dan

Tabel 4. Koefisien korelasi antarvariabel pertumbuhan bibit

Table 4. Correlation coefficient between seedling growth variables

	BK bibit <i>Seedling d.w.</i>	BK akar <i>Root d.w.</i>	Klorofil <i>Chlorophyl</i>	Tinggi <i>Height</i>	Diameter <i>Diameter</i>	J-daun <i>Leaf no.</i>	Luas daun <i>Leaf area</i>
BK bibit <i>Seedling d.w.</i>	1.000						
BK akar <i>Root d.w.</i>	0.966 *	1.000					
Kadar Klorofil <i>Chlorophyl Cont.</i>	0.961 *	0.998 *	1.000				
Tinggi bibit <i>Seedling height</i>	0.064	0.104	0.096	1.000			
Diameter batang <i>Stem diameter</i>	0.955 *	0.998 *	0.998 *	0.120	1.000		
Jumlah daun <i>Leaf no.</i>	0.101	-0.009	-0.021	-0.110	-0.030	1.000	
Luas daun <i>Leaf area</i>	-0.717 *	-0.849 *	-0.844 *	-0.405	-0.863 *	0.210	1.000

Catatan (Notes) : * berbeda nyata pada taraf 5% (*Significantly different at 5% level*).
BK (*d.w.*) : Bobot kering (*dry weight*).

pembentukan akar-akar adventif yang pendek dan tebal, akibatnya bibit asal benih tumbuh lebih kuat dari pada bibit asal setek (Osonubi & Osundina, 1987).

Yamamoto *et al.* (1995) yang mengamati *Fraxinus mandshurica* Rupr. var. *japonica* terhadap perlakuan genangan menyatakan bahwa sebagai respons genangan, tanaman membentuk jaringan hiperhidrik yang berlimpah yang tumbuh dari perbatasan lentisel permukaan batang yang tergenang, dan akar adventif yang tumbuh menembus jaringan hiperhidrik tersebut. Jaringan aerenkim dijumpai pada permukaan akar adventif. Genangan juga memacu sintesis etilen dari bagian batang yang tergenang yang secara tidak langsung akan memacu pertumbuhan kambium dan akar adventif.

Bentuk mekanisme adaptasi yang lain dilaporkan oleh De Simone *et al.* (2003) bahwa terjadi pembentukan lapisan barier suberin dan lignin di dalam eksodermis akar yang memungkinkan terjadinya pengaturan transpor solute dan gas keluar dan masuk

ke dalam akar. Pada spesies yang peka genangan, pembentukan lapisan suberin dalam hipodermal dinding sel sangat lemah, sementara pada spesies yang toleran genangan, suberisasi dinding sel sangat intensif. Fungsi dari lapisan barier suberin tersebut ditengarai untuk mencegah hilangnya oksigen ke arah radial dari akar. Sementara itu Saab & Sachs (1996) menyatakan terbentuknya aerenkim (jaringan korteks dengan ruang interselular yang besar) pada tanaman yang tahan tergenang merupakan hasil dari hidrolisis dinding sel dan juga lisis sel yang diinduksi oleh etilen endogen. Shiba & Daimon (2003) menyatakan dengan kondisi tergenang (*flooding*), bagian luar jaringan felogen akar tunggang *Sesbania cannabina* melebar dan memanjang dan tersusun oleh sel-sel yang berkembang radial membentuk zone bunga karang di dalam endodermis. Sel-sel yang memanjang ini secara radial akan saling terhubung membentuk aerenkim sekunder di sekeliling stele akar tunggang. Sementara pada



Gambar 7. Calon akar adventif bibit kakao tergenang (kanan) dan yang normal (kiri).

Figure 7. Primodia of adventif root of logged cocoa seedling (right) and the normal one (left).

S. rostrata perkembangan aerenkim tersebut lambat tetapi dikompensasi dengan berkembangnya akar adventif yang cepat pada bagian hipokotil di bawah permukaan air.

KESIMPULAN

1. Sampai batas kadar lengas media 25 % di atas kapasitas lapang dan berlangsung terus menerus, tanaman kakao masih tumbuh normal.
2. Semaian dari beberapa klon berikut cukup toleran lengas tanah tinggi, yaitu DRC 16, GC 7 dan ICS 60. Sementara itu satu kelompok semaian yang rentan lengas tanah tinggi yaitu KW 165, KW 163 dan DR 2.
3. Diameter batang serta kadar klorofil merupakan indikator yang baik untuk uji kultivar kakao tahan kadar lengas tanah tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. Soetanto Abdoellah, SU. atas bantuannya dalam menetapkan volume air siraman setiap perlakuan yang diteliti. Ucapan yang sama disampaikan kepada Sdr. Herwanto, Wagiyo dan Surani selaku pelaksana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anyia, A.O. & H. Herzog (2004). Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European J. of Agron.*, 20, 327–339.

Atanda, O.A. (1972). Correlation studies in *Theobroma cacao* L. *Turrialba*, 22, 81–89.

De Simone, O; K. Haase; E. Müller; W. J. Junk; K. Hartmann; L. Schreiber & W. Schmidt (2003). Apoplasmic barriers and oxygen transport properties of hypodermal cell walls in roots from Four Amazonian tree species. *Plant Physiol.*, 132, 206–217.

Else, M.A; A. E. Tiekstra; S. J. Croker; W. J. Davies & M. B. Jackson (1996). Stomatal closure in flooded tomato plants involves abscisic acid and a chemically unidentified anti-transpirant in xylem sap. *Plant Physiology*, 112, 239–247.

Griffith, S.M. (2000). Changes in dry matter, carbohydrate and seed yield resulting from lodging in three temperate grass species. *Annals of Botany*, 85, 675–680.

Goodma, M. & A. R. Ennos (1999). The effects of soil bulk density on the morphology and anchorage mechanics of the root systems of sunflower and maize. *Annals of Botany*, 83, 293–302.

Jumin, H.B. (1992). *Ekologi Tanaman*. Rajawali Press, Jakarta.

Kaelke, C.M. & J.O. Dawson (2003). Seasonal flooding regimes influence survival, nitrogen fixation, and the partitioning of nitrogen and biomass in *Alnus incana* sp. *rugosa*. *Plant & Soil*, 254, 167–177.

Kahlow, M.A; M. Ashraf & Zia-ul-Haq (2005). Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agric. Water Management*, 76, 24–35.

Levitt, J. (1980). *Response of Plant to Environmental Stresses*. Vol. II. Acad. Press, New York.

- Ojeda, M.; B. Schaffer & F.S. Davies (2004). Flooding, root temperature, physiology and growth of two *Annona* species. *Tree Phys.*, 24, 1019–1025.
- Omar R.; O.R. Lopez & T.A. Kursar (1999). Flood tolerance of four tropical tree species. *Tree Phys.*, 19, 925–932.
- Osonubi, O. & M. A. Osundina (1987). Comparison of the responses to flooding of seedlings and cuttings of *Gmelina*. *Tree Phys.*, 3, 147–156.
- Pezeshki, S.R. (1994). *Plant Response to Flooding*. p. 289–321. In : R.E. Wilkinson (Ed.). *Plant-Environment Interactions*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Prawoto, A.A.; A. Salam & Slameto (2003). Respons semaian beberapa klon kakao terhadap cekaman kekeringan. *Pelita Perkebunan*, 19, 55–66.
- Saab, N. & M. M. Sachs (1996). A flooding-induced xyloglucan endo-transglycosylase homolog in maize is responsive to ethylene and associated with aerenchyma. *Plant Physiology*, 112, 385–391.
- Safeena, A.N; P.A. Wahid; P.V. Balachandran & M.S. Sachdev (1999). Absorption of molecular urea by rice under flooded and non-flooded soil conditions. *Plant & Soil*, 208, 161–166.
- Setter, T.L.; M. Ellis; E. V. Laureles; E. S. Ella; D. Senadhira; S. B. Mishra; S. Sarkarung; & S. Datta (1997). Physiology and genetics of submergence tolerance in rice. *Annals of Botany*, 79, 67–77.
- Shiba, H. & H. Daimon (2003). Histological observation of secondary aerenchyma formed immediately after flooding in *Sesbania cannabina* and *S. rostrata*. *Plant & Soil*, 255, 209–215.
- Stephen, M. & S.M.Griffith (2000). Changes in dry matter, carbohydrate and seed yield resulting from lodging in three temperate grass species. *Annals of Botany*, 85, 675–680.
- Visser, W.J.W.; J. D. Cohen; G.W.M. Barendse; C.W.P.M. Blom & L.A.C.J. Voesenek (1996). An ethylene-mediated increase in sensitivity to auxin induces adventitious root formation in flooded *Rumex palustris* Sm. *Plant Physiology*, 112, 1687–1692.
- Wintermans, J.F.G.H. & A. De Mots (1965). Spectrophotometric characteristics of chlorophyll and their pheophytins ethanol. *Biochem. Biophys. Acta*, 109, 448–453.
- Wright, T.G.C.; C. J. Smith & I. B. Wilson (1988). Growth and yield of soybeans under wet soil culture and conventional furrow irrigation in south-eastern Australia. *Irrigation Sci.*, 9, 127–142.
- Yamamoto, F.; T. Sakata & K. Terazawa (2004). Physiological, morphological and anatomical responses of *Fraxinus mandshurica* seedlings to flooding. *Tree Phys.*, 15, 713–719.
- Zhijun, L.Z. & D.I. Dickmann (1992). Abscisic acid accumulation in leaves of two contrasting hybrid poplar clones affected by nitrogen fertilization plus cyclic flooding and soil drying. *Tree Phys.*, 11, 109–122.
